

# 基于国产人工智能软件对肋骨骨折诊断效能应用研究

王雄慧, 雷禹, 牛媛, 李静, 朱彦瑾, 姬星, 黄晓旗\*

延安大学附属医院影像科, 陕西 延安

收稿日期: 2021年12月21日; 录用日期: 2022年1月11日; 发布日期: 2022年1月26日

## 摘要

目的: 评估人工智能辅助分析软件(uAI Portal)对肋骨骨折的诊断效能。方法: 回顾性收集2020年9月~10月在我院就诊的肋骨骨折患者102例。所有患者均经uAI Portal软件及放射科医师对肋骨骨折进行评估, 肋骨骨折的金标准由两名高年资放射科医师共同决定。评估AI诊断肋骨骨折与金标准的一致性, 计算AI与人工诊断的准确度、灵敏度、特异度、误诊率及漏诊率, 并比较两种方法对肋骨骨折的诊断效能。结果: uAI Portal诊断结果与金标准之间差异无统计学意义( $P > 0.05$ ), 两者之间呈高度一致性(KAPPA指数: 0.965,  $P < 0.05$ ), uAI Portal对肋骨骨折诊断的准确性、灵敏度、特异度、漏诊率及误诊率分别为98.9%、95.7%、99.7%、0.3%、4.2%。uAI Portal在1~3、4~6、7~9肋段分布的肋骨骨折与放射科医师的诊断效能差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ), 在10~12肋段分布的肋骨骨折两者诊断效能差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。结论: uAI Portal软件对肋骨骨折的诊断具有较高的准确度、灵敏度和特异度以及较低的漏诊率和误诊率。同时, 在1~9肋段分布的肋骨骨折uAI Portal诊断效能高于放射科医师, 表明应用uAI Portal可以显著提高放射科医师对肋骨骨折的诊断效能, 值得临床进一步推广应用。

## 关键词

肋骨骨折, 计算机断层摄影, 深度学习, 人工智能

# Research on the Application of Artificial Intelligence Software in Rib Fracture Diagnosis

Xionghui Wang, Yu Lei, Yuan Niu, Jing Li, Yanjin Zhu, Xing Ji, Xiaoqi Huang\*

Department of Medical Imaging, Yan'an University Affiliated Hospital, Yan'an Shaanxi

Received: Dec. 21<sup>st</sup>, 2021; accepted: Jan. 11<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 26<sup>th</sup>, 2022

\*通讯作者。

文章引用: 王雄慧, 雷禹, 牛媛, 李静, 朱彦瑾, 姬星, 黄晓旗. 基于国产人工智能软件对肋骨骨折诊断效能应用研究[J]. 临床医学进展, 2022, 12(1): 404-411. DOI: 10.12677/acm.2022.121061

## Abstract

**Objective:** To evaluate the effectiveness of artificial intelligent-assisted analysis software (uAI Portal) in the diagnosis of rib fractures. **Methods:** 102 patients with rib fractures in our hospital from September to October 2020 were collected retrospectively. All patients were evaluated for rib fractures by uAI Portal software and radiologists. The accuracy, sensitivity, specificity, misdiagnosis rate and missed diagnosis rate of the two methods were calculated, and the diagnostic efficacy of two methods for rib fracture was compared. **Results:** There was no significant difference between the results of uAI Portal and the gold standard, and there was a high consistency between them (KAPPA index: 0.965,  $P < 0.05$ ). The accuracy, sensitivity, specificity, missed diagnosis rate and misdiagnosis rate of uAI Portal in the diagnosis of rib fractures were 98.9%, 95.7%, 99.7%, 0.3% and 4.2%. There was significant difference in diagnostic efficiency between uAI Portal and radiologists in rib fractures of 1~3, 3~6 and 6~9 ribs ( $P < 0.05$ ), but there was no significant difference between the two in rib fractures of 10~12 ribs ( $P > 0.05$ ). **Conclusion:** uAI Portal software has high accuracy, sensitivity and specificity in the diagnosis of rib fracture, as well as low missed diagnosis rate and misdiagnosis rate. At the same time, the diagnostic efficiency of uAI Portal in rib fractures distributed in 1~9 ribs was significantly higher than that of radiologists. It shows that the application of uAI-Bone Care can significantly improve the diagnostic efficiency of radiologists in the diagnosis of rib fractures, which is worthy of further clinical application.

## Keywords

Rib Fractures, Computed Tomography, Deep Learning, Artificial Intelligence

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

肋骨骨折是胸部外伤患者中较常见的一种损伤, 发生率高达 40%~80% [1]。在外伤患者中它往往合并有肺挫伤、肺不张、血胸、气胸甚至血气胸等并发症[2]。多根多处肋骨骨折可造成连枷胸, 形成反常呼吸而危及生命[3]。有研究表明[4], 肋骨骨折数量越多, 患者越容易出现肺部并发症, 导致预后不良。随着多层螺旋 CT 的发展, 肋骨骨折的检出率也明显提高[5], 但是, 医生在几百幅图像中找出肋骨骨折费时费力, 并且容易漏诊。有学者指出 CT 最初对肋骨骨折漏诊率达到了 19.2% [6] [7], 很有可能导致患者的预后不良及医疗纠纷。因此, 提高放射科医生对肋骨骨折诊断的准确性非常有必要。

目前, AI 已经成功应用在胸部 CT 检测中, 尤其是对肺部结节检出率以及结节特征性分析, 能够明显地提高放射科医生的诊断效能[8]。然而, 有关 AI 诊断肋骨骨折的研究较为少见。本文采用上海联影公司开发的基于深度学习算法的肋骨骨折辅助分析软件(uAI Portal), uAI Portal 可在数秒钟内自动分割胸椎及肋骨, 对每根肋骨进行标记, 并标记肋骨骨折的部位及骨折的类型, 如非错位性骨折、错位性骨折及陈旧性骨折等。本文主要研究 AI 诊断肋骨骨折的准确效能, 同时, 比较 AI 与放射科医师的诊断效能。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 一般资料

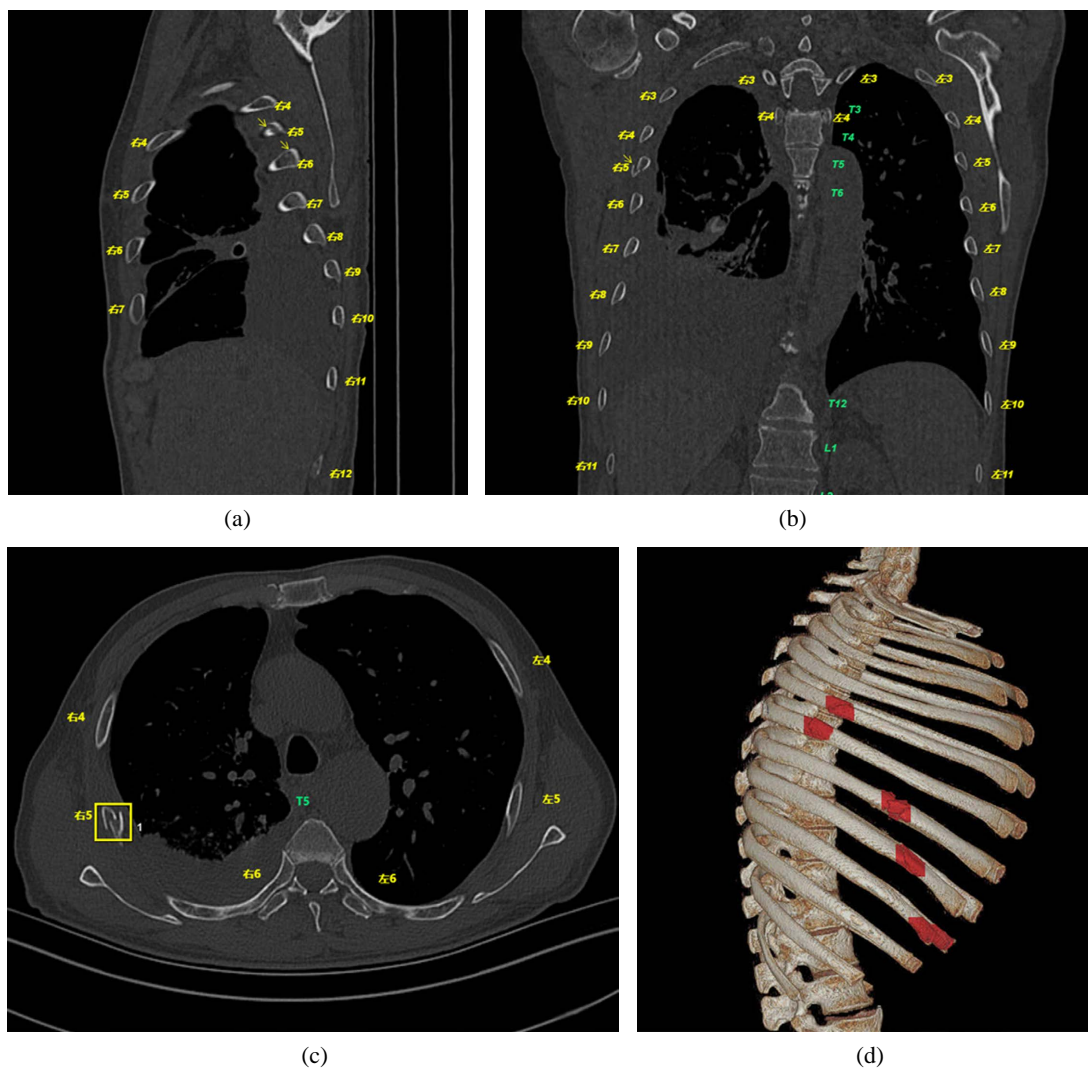
回顾性收集本院于 2020 年 9 月~10 月 102 例肋骨骨折患者, 共 447 根肋骨骨折。其中男性 70 例,

女性 32 例，年龄 21~81 岁，中位年龄 50.5 岁，均是由胸部外伤来我院就诊，并在入院时进行 CT 扫描。

纳入标准：1) 外伤病史；2) 肋骨骨折的影像学特征；3) 图像质量良好，无呼吸运动伪影及断层。排除标准：1) 图像中有明显的呼吸及放射状伪影，影响肋骨骨折的诊断；2) 骨破坏或骨肿瘤病史；3) 先天胸廓发育不良或畸形。本研究是回顾性研究匿名分析，因此，无需知情同意。

## 2.2. CT 检查

使用联影 uCT-760 64 排螺旋 CT。扫描时患者呈仰卧位，头先进，深吸气后屏气，扫描范围由肺尖至上腹部。扫描参数：管电压 120 KV，自适应动态管电流，准直宽度 40 mm，扫螺距 1.0875，扫描层厚 5 mm。图像重建 1 mm 薄层，矩阵 512 × 512，骨算法重建。



**Figure 1.** Male, 52 years old, chest trauma. (a)~(c) uAI Portal automatically identifies and marks ribs, thoracic vertebrae, and fracture sites ((a)~(c) are sagittal, coronal, and axial positions respectively). The box and arrow indicate a dislocation fracture of the 5th rib on the right. (d) VR image, uAI Portal marked the fracture site in red, showing the fracture of the 5th, 6th, 7th, 8th and 9th rib on the right side

**图 1.** 男，52 岁，胸部外伤。(a)~(c) uAI Portal 自动识别并标记肋骨、胸椎、以及骨折部位((a)~(c)分别为矢状位、冠状位及轴位)，方框及箭头示右侧第 5 肋骨错位性骨折；(d) 为 VR 图，uAI Portal 使用红色标记骨折部位，显示右侧第 5、6、7、8、9 肋骨骨折

### 2.3. 肋骨骨折的诊断

1) 由两名具有3年和5年经验的放射科医师使用层厚为1 mm胸部CT轴位图像及采用多种CT后处理技术如容积重建(VR)及多平面重建(MPR)等进行诊断; 2) uAI Portal 软件自动定位肋骨, 并自动识别骨折部位及骨折类型, 得出诊断结果(图1); 3) 由两名高年资放射科医师对肋骨骨折进行定性与定位诊断, 两者意见分歧时请更高级别医师进行定性诊断, 以最终高级别医师诊断结果为金标准。

### 2.4. 统计学方法

采用SPSS24.0统计学分析软件, 计数资料以%表示, 采用配对KAPPA检验uAI Portal的诊断结果与金标准之间的一致性。计算出AI与放射科医师诊断肋骨骨折的准确度、灵敏度、特异度、误诊率及漏诊率。使用MedCalc软件绘制出两种诊断方式的受试者工作特征曲线(receiver operator characteristic curve, ROC曲线), 并比较AUC。 $P < 0.05$ 差异具有统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. uAI Portal 与放射科医师诊断肋骨骨折的结果

uAI Portal 在2448根肋骨中检测出骨折数量434根, 金标准认定骨折数量447根, 两者之间差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。KAPPA检验两者呈高度一致性(KAPPA指数: 0.965,  $P < 0.05$ ), uAI Portal诊断的准确度、灵敏度、特异度、误诊率及漏诊率分别为98.9% (2423/2448)、95.7% (428/447)、99.7% (1995/2001)、0.3% (6/2001)、4.2% (19/447) (表1)。医师甲及乙共检出骨折部位409根、414根, 与金标准组相比两者之间差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。医师甲与医师乙诊断的准确度、灵敏度、特异度、误诊率及漏诊率分别为96.4% (2360/2448)、85.9% (384/447)、98.6% (1976/2001)、1.2% (25/2001)、14.1% (63/447); 96.0% (2351/2448)、85.5% (382/447)、98.4% (1969/2001)、1.6% (32/2001)、14.5% (65/447) (表2、表3)。

**Table 1.** Diagnosis result of the UAI Portal software  
**表 1.** UAI Portal 软件的诊断结果

UAI Portal	金标准组		总计
	检出骨折	未检出骨折	
检出骨折	428	6	434
未检出骨折	19	1995	2014
总计	447	2001	2448

**Table 2.** Doctor A's diagnosis  
**表 2.** 医师甲的诊断结果

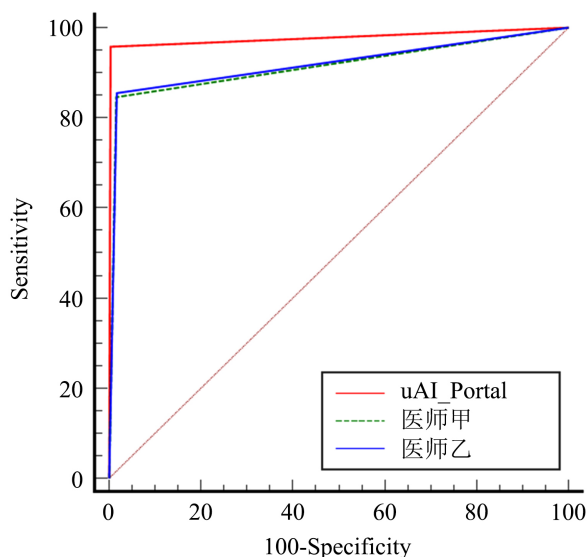
医师甲诊断	金标准组		总计
	检出骨折	未检出骨折	
检出骨折	384	25	409
未检出骨折	63	1976	2039
总计	447	2001	2448

**Table 3.** Doctor B's diagnosis  
**表 3.** 医师乙的诊断结果

医师乙诊断	金标准组		总计
	检出骨折	未检出骨折	
检出骨折	382	32	414
未检出骨折	65	1969	2034
总计	447	2001	2448

### 3.2. 两种方法的诊断效能

uAI Portal 的诊断效能高于低年资放射科医师诊断。uAI Portal、医师甲及医师乙诊断肋骨骨折的 AUC 值分别为 0.977 (95%可信区间 0.971~0.983)、0.915 (95%可信区间 0.903~0.926)、0.919 (95%可信区间 0.908~0.930)，uAI Portal 与医师甲及医师乙 AUC 值差异均具有统计学意义( $P < 0.0001$ ) (图 2)。

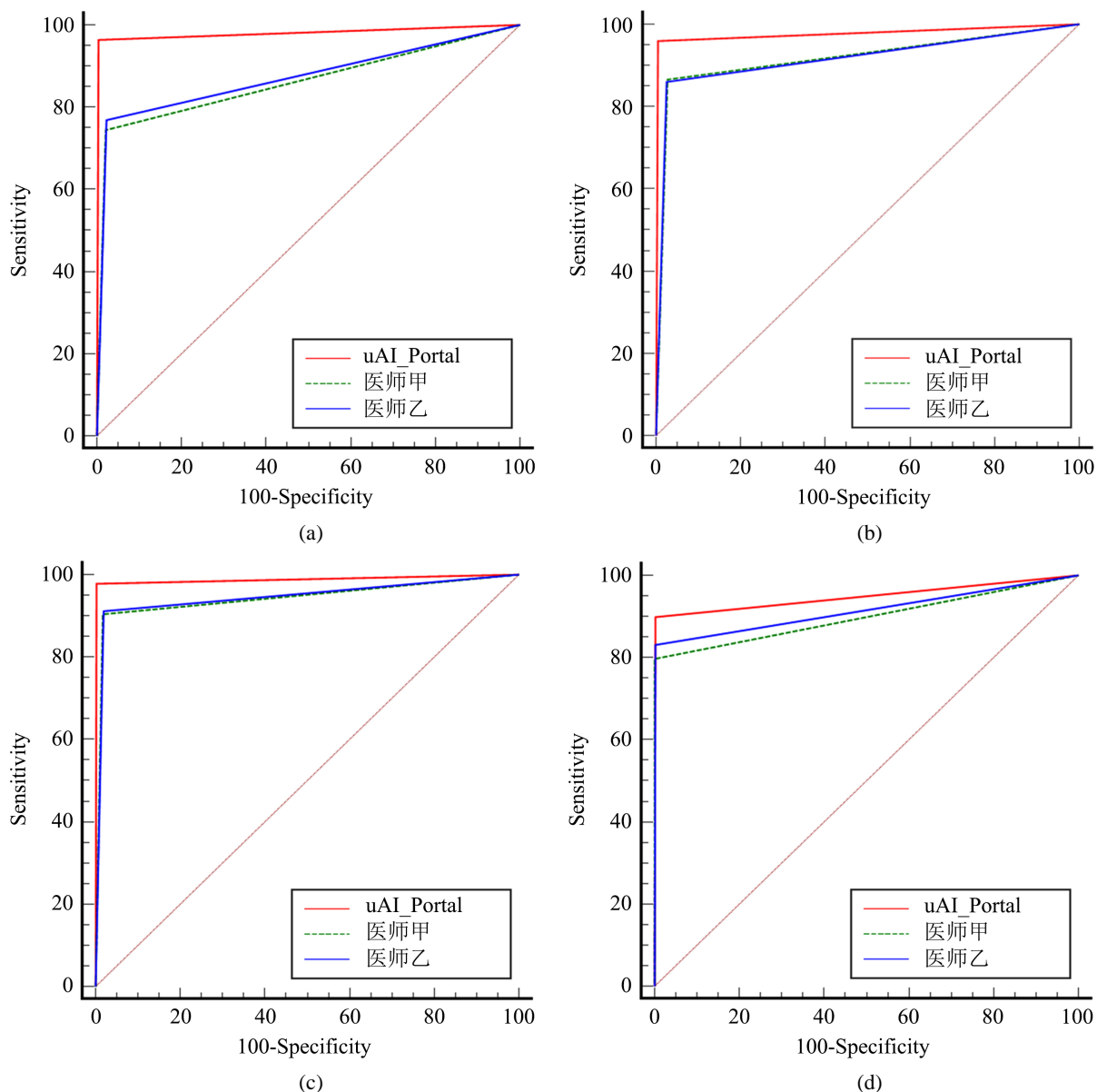


**Figure 2.** ROC curves of uAI Portal and radiologist diagnostic performance

**图 2.** uAI Portal 与放射医师诊断效能的 ROC 曲线

### 3.3. 两种检测方法对不同肋段分布的肋骨骨折的诊断效能

uAI Portal 与低年资放射科医师诊断 1~3、4~6、7~9 肋段分布的肋骨骨折两者间 AUC 值差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。1~3 肋分布的肋骨骨折的 AUC 值分别为 0.980 (95%置信区间 0.965~0.989)、0.862 (95%置信区间 0.832~0.888)、0.873 (95%置信区间 0.844~0.898)；4~6 肋分布的肋骨骨折的 AUC 值分别为 0.977 (95%置信区间 0.962~0.988)、0.919 (95%置信区间 0.895~0.939)、0.917 (95%置信区间 0.893~0.938)；7~9 肋分布的肋骨骨折的 AUC 值分别为 0.988 (95%置信区间 0.976~0.995)、0.943 (95%置信区间 0.922~0.960)、0.946 (95%置信区间 0.925~0.963)；诊断 10~12 肋分布的肋骨骨折的两者间 AUC 值差异无统计学意义( $P > 0.05$ )，10~12 肋分布的肋骨骨折的 AUC 值分别为 0.948 (95%置信区间 0.928~0.964)、0.898 (95%置信区间 0.872~0.921)、0.914 (95%置信区间 0.889~0.935) (图 3)。



**Figure 3.** (a)-(d) uAI Portal and radiologists performed ROC curves of diagnostic efficacy for costal fracture 1~3, 4~6, 7~9 and 10~12, respectively

**图 3.** (a)-(d) uAI Portal 与放射医师在分别再 1~3、4~6、7~9、10~12 肋段肋骨骨折诊断效能 ROC 曲线

## 4. 讨论

肋骨骨折是胸部外伤后较为常见的胸部损伤。准确诊断肋骨骨折的数量及部位，能够改善患者的预后及有效的避免医疗纠纷。随着 MSCT 的广泛使用，肋骨骨折的检出率对比之前的 X 线平片有了很大的提升[9]。但仍存在较高的漏诊及误诊率，尤其是当临床没有提示外伤病史时往往会忽略了肋骨的情况。MSCT 避免了 X 线片上的重叠影像，但图像数量显著增多，大大增加了放射科医师的工作量。有些细微的骨折往往会被遗漏，比如骨折线不明显的非错位性骨折，而且，患者呼吸配合欠佳所造成的伪影、肋骨侧面滋养孔及高龄患者的骨质疏松导致骨皮质毛糙与连续性欠佳容易被低年资的放射科医师误以为骨折。目前，已有一些研究评估先进技术提高放射科医生诊断肋骨骨折的准确性[7] [9] [10] [11] [12] [13]。

本研究显示, uAI Portal 对肋骨骨折的诊断结果与金标准之间呈高度一致性, 并具有很高的准确性、灵敏度及特异度, 有效的降低了临床工作中的误诊率及漏诊率, 表明 uAI Portal 可以满足肋骨骨折的临床诊断。另外, uAI Portal 软件与放射科医师诊断肋骨骨折 AUC 面积具有统计学意义, 这表明了 AI 可以有效提高放射科医师对肋骨骨折的诊断效能。而在 10~12 肋段肋骨骨折 AUC 无显著性差异, 笔者认为, 可能是因为 11、12 肋骨为浮肋, 不固定, 临床损伤较少, 且相对于其他肋骨而言弧度较小, 在后处理重建之后比较容易观察。同时, 我们观察到放射科诊断医师在 1~3 肋段分布的诊断效能较其他肋段相对较低, 可能是因为 1~3 肋骨弧度较大, 在多角度观察时较为复杂, 同时, 由于有锁骨及周围肌肉保护, 1~3 肋骨骨折在临床上并不常见, 易导致放射科医师忽略。

有研究表明[11], 人工智能对肋骨骨折具有很高的诊断效能, 此结果与本篇研究类似。有学者认为[11][12]使用人工智能辅助诊断肋骨骨折可以大大减低医师的阅片时间, 提高放射科医师的工作效率。本研究的局限性在于没有评估放射科诊断医生在有无使用 uAI Portal 时的阅片时间之间的差别及 uAI Portal 对骨折类型诊断的准确性, 在后续的研究中会加入这方面的内容, 以更好地评价 uAI Portal 软件的诊断效能。

## 5. 总结

总之, 使用 uAI Portal 软件对肋骨骨折具有很高的灵敏度及特异度, 可以帮助放射科医师提高肋骨骨折的诊断效能, 降低工作中的漏诊率及误诊率。值得临床进一步推广应用。

## 参考文献

- [1] Lin, F.C., Li, R.Y., Tung, Y.W., et al. (2016) A Morbidity, Mortality, Associated Injuries, and Management of Traumatic Rib Fractures. *Journal of the Chinese Medical Association*, **79**, 329-334. <https://doi.org/10.1016/j.jcma.2016.01.006>
- [2] Henry, T.S., Donnelly, E.F., Boiselle, P.M., et al. (2019) ACR Appropriateness Criteria® Rib Fractures. *Journal of the American College of Radiology*, **16**, S227-S234. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.02.019>
- [3] Maduka, A.K.I., Lin, G.J., Lim, W.W., et al. (2019) A Comprehensive Analysis of Traumatic Rib Fractures in an Acute General Hospital in Singapore. *Journal of Emergencies, Trauma, and Shock*, **12**, 145-149. [https://doi.org/10.4103/JETS.JETS\\_72\\_18](https://doi.org/10.4103/JETS.JETS_72_18)
- [4] 茅怡铭, 吴长江. 老年多发肋骨骨折患者肺部并发症风险预测模型的建立[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2019, 39(1): 69-72. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8115.2019.01.013>
- [5] Cho, S.H., Sung, Y.M. and Kim, M.S. (2012) Missed Rib Fractures on Evaluation of Initial Chest CT for Trauma Patients: Pattern Analysis and Diagnostic Value of Coronal Multiplanar Reconstruction Images with Multidetector Row CT. *British Journal of Radiology*, **85**, e845-e850. <https://doi.org/10.1259/bjr/28575455>
- [6] Van Laarhoven, J., Hietbrink, F., Ferree, S., et al. (2019) Associated Thoracic Injury in Patients with a Clavicle Fracture: A Retrospective Analysis of 1461 Polytrauma Patients. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **45**, 59-63. <https://doi.org/10.1007/s00068-016-0673-6>
- [7] 陆芳, 葛斌俊, 李骋, 等. CT 肋骨拉伸后处理技术诊断肋骨骨折的价值[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(9): 695-698. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.09.013>
- [8] 汪琼, 孙婷婷, 范鸿禹, 等. AI 辅助软件对于提高不同年资规培医师肺结节检测能力的影响[J]. 国际医学放射学杂志, 2020, 43(4): 403-408. <https://doi.org/10.19300/j.2020.L17773>
- [9] 卢暄, 卢平明, 张雪宁, 等. 64 排螺旋 CT 后处理技术诊断肋骨骨折的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2015(4): 642-645. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-1671.2015.04.030>
- [10] 周清清, 王佳硕, 唐雯, 等. 基于卷积神经网络成人肋骨骨折 CT 自动检测和分类的应用研究[J]. 影像诊断与介入放射学, 2020, 29(1): 27-31. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1005-8001.2020.01.005>
- [11] 齐敏, 董志坚, 郑颖, 等. CT Bone Reading 软件对肋骨骨折诊断效能的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2019, 35(9): 1476-1479. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-1671.2019.09.024>
- [12] Ringl, H., Lazar, M., Töpker, M., et al. (2015) The Ribs Unfolded—A CT Visualization Algorithm for Fast Detection of Rib Fractures: Effect on Sensitivity and Specificity in Trauma Patients. *European Radiology*, **25**, 1865-1874.

<https://doi.org/10.1007/s00330-015-3598-2>

[13] 郭琰. 肋骨曲面重建方法探究[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34(8): 1302-1303.

<https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-1671.2018.08.043>